昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，August 2007，50(8)：795 – 800 ISSN 0454-6296

昆明山海棠的杀虫活性及有效成分

师宝君[1]，姬志勤[1]，张继文[2]，吴文君[1,*]

(1. 西北农林科技大学植物保护学院，陕西杨凌 712100；2. 西北农林科技大学理学院，陕西杨凌 712100)

摘要：【目的】从天然产物尤其是植物中寻找杀虫活性物质是杀虫剂创制的重要途径。【方法】采用生物活性追踪、分离等方法，研究了昆明山海棠 *Tripterygium hypoglaucum* (Levl.) Hutch 对 6 种鳞翅目昆虫的杀虫活性及有效成分。【结果】昆明山海棠根皮石油醚提取物、甲醇提取物和乙酸乙酯提取物对粘虫 3 龄幼虫均具有拒食活性，24 h 的拒食毒力 AFC_{50} 值分别为 1 165.7 μg/mL、104.3 μg/mL 和 47.3 μg/mL。昆明山海棠根皮甲醇提取物对粘虫 4 龄幼虫具有触杀活性，其 LD_{50} 值为 100.4 μg/头。从昆明山海棠根皮甲醇提取物中分离出雷公藤春碱、雷公藤吉碱、雷公藤定碱和雷公藤榕碱 4 个杀虫活性化合物，雷公藤春碱和雷公藤吉碱对粘虫具有胃毒麻醉活性，对粘虫 3 龄幼虫 8 h 的麻醉中量(ND_{50})分别是 18.1 μg/头和 7.4 μg/头。雷公藤定碱和雷公藤榕碱对粘虫具有触杀麻醉活性，对粘虫 4 龄幼虫 24 h 的 ND_{50} 分别是 0.33 μg/头和 0.06 μg/头；对 3 龄小地老虎具有胃毒麻醉活性，24 h 的麻醉中量 ND_{50} 分别是 5.62 μg/头和1.24 μg/头。【结论】昆明山海棠对所测试的 6 种鳞翅目昆虫均有一定的杀虫活性，其主要杀虫活性成分为雷公藤春碱、雷公藤吉碱、雷公藤定碱和雷公藤榕碱 4 个化合物。

关键词：昆明山海棠；杀虫活性；倍半萜吡啶生物碱

中图分类号：Q966 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2007)08-0795-06

Insecticidal activities and active ingredients of *Tripterygium hypoglaucum* (Levl.) Hutch

SHI Bao-Jun[1]，JI Zhi-Qin[1]，ZHANG Ji-Wen[2]，WU Wen-Jun[1,*] (1. College of Plant Protection，Northwest Agriculture and Forestry University，Yangling，Shaanxi 712100，China；2. College of Sciences，Northwest Agriculture and Forestry University，Yangling，Shaanxi 712100，China)

Abstract：【Aim】Isolating insecticidal activities compounds is an important method to discover new pesticides. 【Methods】Insecticidal activities and active ingredients of *Tripterygium hypoglaucum* against six lepidopteran insects were studied with bioassay-guided fractionation methods. 【Results】The results showed the petroleum extract，methanol extract and acetic ether extract of the root of *T. hypoglaucum* had antifeedant activity against the 3th instar larvae of *Mythimna separata* Walker，with the AFC_{50} value 1 165.7 μg/mL，104.3 μg/mL and 47.3 μg/mL 24 h after treatment，respectively. The methanol extract of the root bark had contact toxicity to the 4th instar larvae of *M. separatar*，with the LD_{50} values 100.4 μg/larva 24 h after treatment. Four sesquiterpenes pyridine alkaloids，*i.e.*，wilfortrine，wilforgine，wilfordine and wilforine，were isolated from the methanol extract of the root bark of *T. hypoglaucum* by bioassay-guided fractionation. The bioassay results showed that wilfortrine and wilforgine had stomach toxicity with the ND_{50} value 18.1 μg/larva and 7.4 μg/larva，respectively against *M. separata*；wilfordine and wilforine had topical toxicity with the ND_{50} value 0.33 μg/larva and 0.06 μg/larva，respectively against *M. separata* and stomach toxicity with the ND_{50} value 5.62 μg/larva and 1.24 μg/larva，respectively against *Agrotis ypsilon*. 【Conclusions】*T. hypoglaucum* exhibited insecticidal activity of some degree against the all six lepidopteran insects tested，and the main active ingredients were wilfortrine，wilforgine，wilfordine and wilforine.

Key words：*Tripterygium hypoglaucum*；insecticidal activity；sesquiterpenes pyridine alkaloids

---

基金项目：国家重点基础研究发展计划‘973’项目(2003CB114404)

作者简介：师宝君，男，1972 年生，甘肃天水人，助理研究员，主要从事天然产物农药的研究，E-mail：sbj9612@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：wuwenjun_1@163.com

收稿日期 Received：2006-12-20；接受日期 Accepted：2007-04-25

从天然产物尤其是植物中寻找杀虫活性物质或者以此为先导人工合成具有更高活性的化合物是杀虫剂创制的重要途径，国内外学者已对许多植物进行了这方面的研究，从中已分离到众多的杀虫活性化合物（吴文君等，1998）。

昆明山海棠 *Tripterygium hypoglaucum*（Levl.）Hutch 是卫矛科雷公藤属落叶披散蔓状灌木植物，生长于向阳山坡、路边或灌木丛中，分布在长江以南部分省区至西南地区，植物形态与雷公藤十分相似，从中所分离得到的化合物也十分相似（张亮等，1992；夏志林等，1994）。国内外学者已对雷公藤杀虫活性成分、杀虫谱和作用机理进行了探讨（Beroza and Bottger，1954；赵善欢和张兴，1982；童红云和赵善欢，1988；罗都强和张兴，2000，2001；罗都强等，2001），但对昆明山海棠杀虫活性的研究仅有赵善欢先生对其粗提物杀虫活性的研究报道（Chiu，1989）。为进一步明确昆明山海棠的杀虫活性成分，我们采用生物活性追踪分离方法，从昆明山海棠中分离鉴定出4个杀虫活性成分。

1 材料与方法

1.1 供试植物

昆明山海棠根皮为2000年9月采自湖南株洲，由中南林学院王文学教授提供。

1.2 主要化学试剂和仪器

石油醚（60～90℃），甲醇，氯仿，乙酸乙酯，丙酮均为分析纯试剂，薄层层析硅胶和柱层析硅胶均为青岛海洋化工厂生产。

制备HPLC系统：SYB-3输液泵，UV100型检测器，φ50 mm×300 mm不锈钢柱，C18填料（粒度为10 μm）（天津科技高新技术公司生产）；分析型HPLC系统：Waters600E型液相色谱仪（带600E泵，UV486紫外检测器和WDL95工作站）（美国Waters公司生产）；分析型色谱柱为YWG C18柱（φ4.6 mm×250 mm，填料粒径为10 μm）（大连化学物理所生产）；X4型显微熔点测定仪（熔点未校正）（北京第二光学仪器厂生产）；Bruker Apex Ⅱ质谱仪，Bruker RPX 400 MHz核磁共振仪（德国Bruker公司生产）。

1.3 试虫

粘虫 *Mythimna separata* Walker，室内以麦苗和玉米苗累代饲养，4龄幼虫供触杀活性测定，3龄幼虫供胃毒活性测定。小菜蛾 *Plutella xylostella*，室内以蛭石萝卜苗或油菜苗饲养，3龄幼虫供试。小地老虎 *Agrotis ypsilon*（Rottemberg）：室内以甘蓝叶片饲养，3龄幼虫供试。以上试虫均由西北农林科技大学农药研究所提供。

菜青虫 *Pieris rapae* L.、甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* L.和银纹夜蛾 *Trichoplusia ni* Hubner均采自田间，以甘蓝叶片在室内饲养，5龄幼虫供试。

1.4 生物活性测定方法

1.4.1 拒食活性测定：拒食活性测定采用载毒叶片法。供试样品用丙酮稀释成系列浓度。将新鲜小麦叶片（或甘蓝叶片）剪成0.5 cm×0.5 cm的叶碟，用一定体积的微量点滴器将丙酮药液涂到叶碟上，待丙酮挥发后，放入直径为5 cm的培养皿内（内铺一层湿滤纸），加水保温，每皿放入1头生长正常，饥饿12 h的3龄粘虫，每处理10头。实验重复3次。对照用丙酮浸叶碟。室温下饲养，将试虫取食的叶片置于坐标纸上，估计试虫取食的面积，按下列公式计算拒食率，并求出回归方程和拒食中浓度（AFC_{50}）。

拒食率（%）=（对照取食面积/头－处理取食面积/头）/对照取食面积/头×100（%）

1.4.2 触杀活性测定：粘虫、小菜蛾、小地老虎、菜青虫触杀活性测定采用微量点滴法。试验时挑取适宜的试虫，用微量点滴器在试虫的前胸背板上定量点滴一定体积的供试样品丙酮稀释液（对照组只点滴等量丙酮），每处理10头，分置于培养皿内，于养虫室内饲养，定时观察记载试虫中毒症状（吴文君，1987）。实验重复3次。

1.4.3 胃毒活性测定：采用载毒叶碟法，方法同1.4.1节拒食活性的测定，处理24 h后调查试虫麻醉率，观察记载试虫中毒症状。

1.4.4 活性跟踪方法：对柱层析中各流分的活性跟踪以粘虫4龄幼虫为试虫；测定方法同1.4.2节。

1.5 活性成分的提取、分离及结构鉴定

1.5.1 活性成分的提取：将昆明山海棠根皮晾干、粉碎后用石油醚热回流提取3次，过滤，滤液经减压浓缩得石油醚提取物，残渣再用甲醇热回流提取3次，过滤，滤液经减压浓缩得甲醇提取物，残渣用浓氨水拌湿后风干，再用乙酸乙酯热回流提取3次，过滤，滤液经减压浓缩得乙酸乙酯提取物，最后弃去残渣。

1.5.2 活性成分的分离：以粘虫4龄幼虫供试，采用1.4.2节方法跟踪活性。经生物活性追踪，发现甲醇提取物有杀虫活性。取甲醇提取物60 g，用少量氯仿溶解后，吸附在少量硅胶上进行吸附柱（10 cm×1 m）层析。选用200～300目硅胶1.0 kg为吸

附剂，石油醚湿法装柱，干法上样。分别用石油醚，石油醚∶乙酸乙酯(9∶1，4∶1，1∶1，1∶4)，乙酸乙酯，甲醇洗脱，每种洗脱剂用量为 2 500 mL，每 500 mL 收集 1 份，编号，TLC 检测，归类合并，共得到 10 个流分。经活性测试，其中第 9 个流分有活性，继续对其进行分离，即将流分 9(3.2 g)用少量氯仿溶解后，吸附在少量硅胶上进行吸附柱(2.0 cm × 1 m)层析，再分别用氯仿/甲醇梯度洗脱，得到 7 个流分，其中流分 2 活性较强。对流分 2 采用制备液相切分、重结晶等方法分离得到 4 个化合物。

1.5.3　结构鉴定：测定熔点、质谱、核磁共振谱并结合相关文献解析化合物的结构。

2　结果与分析

2.1　昆明山海棠不同溶剂提取物的生物活性

2.1.1　对粘虫的拒食活性：昆明山海棠石油醚、甲醇、乙酸乙酯提取物对粘虫的拒食活性见表 1。由表 1 可以看出，3 种提取物对 3 龄粘虫均有一定的拒食活性，其中石油醚、甲醇、乙酸乙酯提取物的拒食中浓度(AFC_{50})依次为 1 165.7 μg/mL、104.3 μg/mL 和 47.3 μg/mL，表明昆明山海棠中具有拒食活性的化合物主要存在于极性较大的甲醇提取物和乙酸乙酯提取物中，而非极性的石油醚提取物中拒食活性成分的含量很少。

观察结果还表明，试虫取食提取物低浓度处理的叶片后，并未表现出明显的中毒症状。

2.1.2　对粘虫的触杀活性：昆明山海棠石油醚提取物和乙酸乙酯提取物在 50 μg/头用量下对 4 龄粘虫均无触杀活性(幼虫死亡率分别为 0 和 3.33%，对照的幼虫死亡率为 3.33%)，甲醇提取物具有一定的触杀活性(幼虫死亡率 27.59%)。进一步的毒力测定结果表明，甲醇提取物对粘虫触杀毒力的 LD_{50} 为 100.4 μg/头($y = 1.8935 + 1.5521x$，$r = 0.9774$)。

表 1　昆明山海棠 3 种溶剂提取物对粘虫的拒食活性

Table 1　Antifeeding activity of three solvent extracts of *Tripterygium hypoglaucum* against the 3rd instar larvae of *Mythimna separata*

供试样品 Tested samples	毒力回归方程 Toxicity regression equation	r	AFC_{50} (μg/mL)	95%置信限 95% CI
石油醚提取物 Petroleum extract	$y = -1.1580 + 2.0100x$	0.9592	1 165.7	874.6 – 1 532.4
甲醇提取物 Methanol extract	$y = 2.8027 + 1.0886x$	0.9069	104.3	77.8 – 139.6
乙酸乙酯提取物 Acetic ether extract	$y = 3.9706 + 0.6147x$	0.9548	47.3	29.8 – 71.9

2.2　昆明山海棠活性成分的分离、纯化及结构鉴定

昆明山海棠甲醇提取物经二次硅胶柱层析、高效制备液相切分和重结晶等方法共分离得到 4 个具有杀虫活性的化合物，经测定熔点、质谱、核磁共振谱并结合相关文献解析其结构如图 1 和表 2 所示。

S_1，无色片状结晶 19 mg。熔点 237 ~ 238℃；MS (m/z)：876，m/z 874.2764[M + 1]$^+$，计算值 874.2754，e = 1.1 ppm，可以确定其分子式为 $C_{41}H_{47}O_{20}N$，根据 ^{1}H-NMR、^{13}C-NMR、谱中的数据，确定了 S_1 与雷公藤春碱(wilfortrine)的结构相同。

S_2，无色片状结晶(氯仿-甲醇) 21 mg。熔点 210 ~ 212℃。MS(m/z)：860，在 ESI-HRMS 谱显示 m/z 858.2817 [M + 1]$^+$，计算值 858.2815，e = 0.5 ppm 可以确定其分子式为 $C_{41}H_{47}O_{19}N$，根据 ^{1}H-NMR、^{13}C-NMR、^{1}H—^{1}H COSY、HMBC，HMQC 谱中的数据，确定了 S_2 与雷公藤吉碱(wilforgine)的结构相同。

S_3，无色针状结晶(氯仿-甲醇) 99 mg。熔点 181 ~ 183℃。MS(m/z)：886，m/z 884.2838[M + 1]$^+$，计算值 884.2846，e = 0.7 ppm，可以确定其分子式为 $C_{43}H_{49}O_{19}N$。其 ^{1}H-NMR、^{13}C-NMR、^{1}H—^{1}HCOSY、HMBC，HMQC 谱与雷公藤定碱(wilfordine)的结构相同(何直升等，1985；吴大刚，1986；邓福孝等，1992；徐力红等，1995；林绥等，1995)，确定化合物 S_3 为雷公藤定碱。

S_4，无色针状结晶 81 mg。熔点 170 ~ 171℃。MS(m/z)：870，在 ESI-HRMS 谱显示 m/z 868.3194，[M

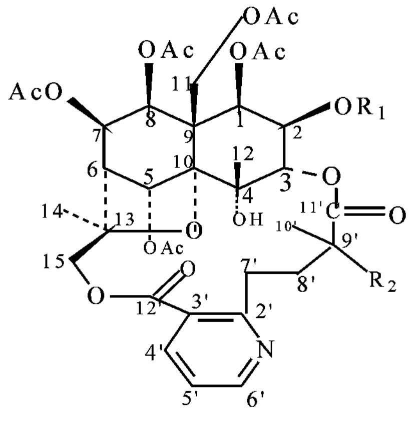

图 1　4 个化合物的母体结构

Fig. 1　The mother structure of four compounds

+1]$^{+}$，计算值 868.3200，e = 0.7 ppm 可以确定其分子式为 $C_{43}H_{49}O_{18}N$，根据 ^{1}H-NMR、^{13}C-NMR、^{1}H—^{1}H COSY、HMBC，HMQC 谱中的数据，确定了 S_4 与雷公藤榕碱(wilforine)的结构相同。

表 2 4 个化合物的取代基

Table 2 The substitute of four compounds

代码 Code	化合物 Compound	R_1	R_2
S_1	Wilfortrine	OFu	OH
S_2	Wilforgine	OFu	H
S_3	Wilfordine	OBz	OH
S_4	Wilforine	OBz	H

Fu：呋喃甲酰基 Furoxyl；Bz：苯甲酰基 Benzoxyl.

2.3 4 个化合物的杀虫活性

2.3.1 对粘虫的杀虫活性：由表 3 可以看出，雷公藤春碱和雷公藤吉碱在 1% 浓度下对 4 龄粘虫无触杀麻醉活性，雷公藤定碱和雷公藤榕碱对 4 龄粘虫触杀活性较高，对粘虫 24 h 麻醉率分别为 66.7% 和 76.7%。而且部分试虫出现中毒麻醉、恢复、麻醉、又恢复的症状。进一步的触杀毒力测定结果表明，雷公藤定碱和雷公藤榕碱 24 h 触杀麻醉中量(ND_{50})分别为 0.33 μg/头和 0.06 μg/头(表 4)。

采用载毒叶片法，测定了雷公藤春碱和雷公藤吉碱在 1% 浓度下对 3 龄粘虫的胃毒活性，结果表明：雷公藤春碱和雷公藤吉碱 8 h 试虫麻醉率分别为 81.3% 和 76.7%，24 h 后中毒试虫死亡率小于 20%，恢复后的试虫与对照无明显差异。进一步的毒力测定结果表明其 8 h 胃毒麻醉中量(ND_{50})分别为 18.1 μg/头和 7.4 μg/头(表 4)。

表 3 4 个化合物对 4 龄粘虫的触杀活性

Table 3 Topical toxicity of the four compounds against the 4th instar larvae of *Mythimna separata*

供试样品 Sample	2 h 麻醉率(%) Narcosis rate 2 h after treatment	8 h 麻醉率(%) Narcosis rate 8 h after treatment	24 h 麻醉率(%) Narcosis rate 24 h after treatment	48 h 死亡率(%) Mortality 48 h after treatment
雷公藤春碱 Wilfortrine	0	0	0	0
雷公藤吉碱 Wilforgine	0	0	0	0
雷公藤定碱 Wilfordine	16.7	0	66.7	6.7
雷公藤榕碱 Wilforine	26.7	0	76.7	13.3

注 Notes：供试样品浓度为 1%。The concentration of sample is 1%.

表 4 4 个化合物对粘虫的触杀活性和胃毒活性

Table 4 Topical toxicity and stomach toxicity of the four compounds against *Mythimna separata* larvae

作用方式 Action mode	样品 Sample	毒力回归方程 Toxicity regression equation	麻醉中量(μg/头) ND_{50} (μg/larva)	r	95% 置信限 (μg/头) 95% CI (μg/larva)
触杀活性 Topical toxicity	雷公藤定碱 Wilfordine	$y = 5.5767 + 1.1931x$	0.33	0.9658	0.21 – 0.51
	雷公藤榕碱 Wilforine	$y = 6.7682 + 1.4187x$	0.06	0.9816	0.03 – 0.11
胃毒活性 Stomach toxicity	雷公藤春碱 Wilfortrine	$y = 2.0883 + 2.3147x$	18.1	0.9306	14.0 – 23.4
	雷公藤吉碱 Wilforgine	$y = 3.2620 + 2.0045x$	7.4	0.9931	5.6 – 9.6

2.3.2 对小地老虎的活性：采用微量点滴法，测定了 4 个化合物在 1% 浓度下对 3 龄小地老虎的触杀活性，结果表明 4 个化合物对小地老虎均无触杀活性。采用载毒叶片法测定了 4 个化合物在 1% 浓度下对 3 龄小地老虎的胃毒活性，结果表明：雷公藤春碱和雷公藤吉碱对 3 龄小地老虎无胃毒活性，雷公藤定碱和雷公藤榕碱对 3 龄小地老虎具有胃毒活性，24 h 小地老虎胃毒麻醉率分别为 75.50% 和 95.50%，48 h 后部分中毒试虫恢复，死亡率分别为 25.50% 和 50.00%。进一步的毒力测定结果表明其 24 h 胃毒麻醉中量分别为 5.62 μg/头($y = 3.2253 + 2.3680x$，$r = 0.9923$)和 1.24 μg/头($y = 4.8408 + 1.6817x$，$r = 0.9793$)。

2.3.3 雷公藤定碱和雷公藤榕碱对其他昆虫的活性：由表 5 可以看出，雷公藤定碱和雷公藤榕碱对小菜蛾具有较高的触杀活性和一定的胃毒活性；对菜青虫具有一定的胃毒活性，而无触杀活性；对银纹夜蛾、甘蓝夜蛾具有一定的触杀活性，而无胃毒活性。

表 5 雷公藤定碱和雷公藤榕碱对其他昆虫的杀虫活性

Table 5 Insecticidal activity of wilfordine and wilforine against other insects

供试昆虫 Insects	作用方式 Action mode	剂量(μg/头) Dosage (μg/larva)	24 h 麻醉率(%) Narcosis rate 24 h after treatment		48 h 死亡率(%) Mortality 48 h after treatment	
			雷公藤定碱 Wilfordine	雷公藤榕碱 Wilforine	雷公藤定碱 Wilfordine	雷公藤榕碱 Wilforine
小菜蛾	触杀活性 Contact activity	10	65.0	70.0	45.0	40.0
P. xylostella	胃毒活性 Stomach activity	10	15.0	20.0	10.0	15.0
菜青虫	触杀活性 Contact activity	5	0	0	0	0
P. rapae	胃毒活性 Stomach activity	5	85.0	100.0	25.0	33.3
银纹夜蛾	触杀活性 Contact activity	5	21.4	35	37.5	50
T. ni	胃毒活性 Stomach activity	5	0	0	0	0
甘蓝夜蛾	触杀活性 Contact activity	5	23.1	40.0	35.0	55.0
M. brassicae	胃毒活性 Stomach activity	5	0	0	0	0

3 结论与讨论

尽管早在 1989 年,赵善欢先生就已经报道了昆明山海棠的提取物具有杀虫活性,但对其杀虫活性成分一直没有研究报道(Chiu,1989)。本研究首次从昆明山海棠根皮中分离鉴定出雷公藤春碱、雷公藤吉碱、雷公藤定碱和雷公藤榕碱 4 个主要杀虫活性成分。生物测定结果表明,雷公藤定碱和雷公藤榕碱对粘虫、银纹夜蛾、甘蓝夜蛾和小菜蛾均具有一定的触杀活性,对小地老虎、菜青虫和小菜蛾具有胃毒活性;雷公藤春碱和雷公藤吉碱对粘虫具有较高的胃毒活性,而无触杀活性,这与文献报道有所不同。Beroza 和 Bottger(1954)曾报道雷公藤春碱、雷公藤吉碱、雷公藤定碱、雷公藤辛碱(wilforzine)和雷公藤榕碱等生物碱对欧洲玉米螟初孵幼虫具有很强的毒杀活性。罗都强和张兴(2000,2001)及罗都强等(2001)报道雷公藤吉碱、雷公藤定碱、雷公藤辛碱和雷公藤榕碱等生物碱对粘虫、小菜蛾和菜青虫具有拒食、胃毒活性,而无触杀活性。本研究结果证实雷公藤定碱和雷公藤榕碱对粘虫、银纹夜蛾、甘蓝夜蛾和小菜蛾具有显著的触杀麻醉活性,这对于此类化合物毒理学研究有重要意义。

雷公藤春碱、雷公藤吉碱、雷公藤定碱和雷公藤榕碱 4 个化合物处理粘虫后,试虫中毒后,身体非常柔软,对外界反应消失,这与已报到的一些具有杀虫活性的二氢沉香呋喃类化合物苦皮藤素 Ⅳ, Euoverrine A,Euoverrine B,Euophelline,Euojaponine C 等中毒症状相似(Wu *et al*.,2001;Zhu *et al*.,2002)。但雷公藤定碱和雷公藤榕碱点滴到粘虫前胸背板后,试虫 2 h 中毒麻醉,8 h 后完全恢复,24 h 后又中毒麻醉,48 h 有一部分试虫恢复,一部分死亡。这种独特的作用症状未见报道,其作用机理仍需进一步的研究。

参 考 文 献 (References)

Beroza M, Bottger GT, 1954. The insecticidal value of *Tripterygium wilfordii*. *J. Econ. Entomol.*, 47(1): 188–189.

Chiu SF, 1989. Studies on plants as a source of insect growth regulators for crop protection. *J. Appl. Entomol.*, 107: 185–192.

Deng FX, Cao JH, Xia ZL, Lin S, Wang XY, 1992. The structures of triptotetraolide and wilforjine. *Acta Botanica Sinica*, 34: 618–621. [邓福孝,曹剑虹,夏志林,林绥,王小逸,1992. 雷公藤倍半萜生物碱的研究. 植物学报,34:618–621]

He ZS, Hong SH, Li Y, Sha H, Yu XG, 1985. Structure of new alkaloids from *Tripterygium wilfordii* (Ⅳ). *Acta Chim. Sinica*, 43(6): 593–596. [何直升,洪山海,李亚,沙怀,于显国,1985. 新生物碱雷公藤碱戊的结构. 化学学报,43(6):593–596]

Lin S, Li YC, Nobuko Sakkurai, Zheng YL, Deng FX, 1995. Isolation and structure of sesquiterpene alkaloids from *Tripterygium wilfordii*. *Acta Pharm. Sinica*, 30(7): 513–516. [林绥,李援朝,樱井信子,郑幼兰,邓福孝,1995. 雷公藤倍半萜生物碱的分离与结构. 中草药,30(7):513–516]

Luo DQ, Feng JT, Hu Z, Zhu MJ, Zhang X, 2001. Isolation and bioactivities of the non-alkaloids from *Tripterygium wilfordii* against *Leucaninia separata* Walker. *J. Northwest Sci-Tech Univ. Agri. For.* (*Nat. Sci. Ed.*), 29(2): 61–64. [罗都强,冯俊涛,胡瓒,祝木金,张兴,2001. 雷公藤总生物碱分离及杀虫活性研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版),29(2):61–64]

Luo DQ, Zhang X, 2000. Insecticidal activities of the non-alkaloid extracts from *Tripterygium wilfordii* against *Pieris rapae* L. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2(4): 94–96. [罗都强,张兴,2000. 雷公藤非生物碱成分对菜青虫杀虫活性研究. 农药学学报,2(4):94–96]

Luo DQ, Zhang X, 2001. Isolation and bioactivities of the alkaloids from *Tripterygium wilfordii* against *Pieris rapae*. *J. Northwest Sci-Tech Univ. Agri. For.* (*Nat. Sci. Ed.*), 29(4): 81–84. [罗都强,张兴,2001. 雷公藤非生物碱分离及对粘虫作用方式研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版),29(4):81–84]

Tong HY, Chiu SF, 1988. Studies on the toxicology of the bioactive materials

from *Tripterygium wilfordii* against the imported cabbages worm (*Pieris rapae* L.). *Journal of South China Agricultural University*, 9(4): 14–20. [童红云，赵善欢，1988. 雷公藤对菜青虫的毒理效应及防治试验. 华南农业大学学报(自然科学版)，9(4): 14–20]

Wu DG，1986. The isolation and identification of alkaloids from *Tripterygium hypoylaucum* by COSY spectrum. *Acta Botanica Yunnanica*, 8(3): 343–354. [吴大刚，1986. "COSY"谱用于昆明山海棠生物碱的鉴定. 云南植物研究，8(3): 343–354]

Wu WJ，1987. The Guide of Plant Protection Experiment Technology. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press. 23–25. [吴文君，1987. 植物化学保护实验技术导论. 西安：陕西科技出版社. 23–25]

Wu WJ，1998. Natural Insecticides: Theory，Method and Practice. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press. 45–76. [吴文君，1998. 天然产物杀虫剂-原理·方法·实践. 西安：陕西科技出版社. 45–76]

Wu WJ，Wang MA，Zhu JB，Zhou WM，Hu ZN，Ji ZQ，2001. Five insecticidal sesquiterpenoids from *Celastrus angulatus*. *J. Nat. Prod.*, 64: 364–367.

Xia ZL，Xu RQ，Guo SM，Deng FX，1994. Determination of constituents in *Tripterygium wilfordii* and *T. hypoglaucum* by TLC method. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 25(9): 464–465. [夏志林，徐榕青，郭舜民，邓福孝，1994. 雷公藤和昆明山海棠的薄层层析检查. 中草药，25(9): 464–465]

Xu LH，Miao KL，Huang LY，1995. Isolation of alkaloids from *Tripterygium wilfordii*. *China Pharmacy*, 6(4): 12–13. [徐力红，苗抗立，黄丽瑛，1995. 雷公藤生物碱的分离鉴定. 中国药房，6(4): 12–13]

Zhang L，Zhang ZX，Sheng LS，An DK，1992. Study on the volatile constituents and their content of *Tripterygium wilfordii* and *T. hypoglaucum* from different regions by GC-MS. *Journal of China Pharmaceutical University*, 23(5): 301–303. [张亮，张正行，盛龙生，安登魁，1992. 雷公藤和昆明山海棠挥发性化学成分比较. 中国药科大学学报，23(5): 301–303]

Zhao SH，Zhang X，1982. Experiments on the antifeedant and systemic properties of some botanical insecticides against the rice yellow stem borer. *Scientia Agricultura Sinica*, 3(2): 55–62. [赵善欢，张兴，1982. 植物质杀虫剂对水稻三化螟的拒食和内吸毒力试验. 中国农业科学，3(2): 55–62]

Zhu JB，Wang MA，Wu WJ，Ji ZQ，Hu ZN，2002. Insecticidal sesquiterpene pyridine alkaloids from *Euonymus* species. *Phytochemistry*, 61: 699–704.

（责任编辑：黄玲巧）